

# Karakter Geokimia Organik Minyak Mentah Sumur Tua Blok Cepu, Formasi Wonocolo, Jawa Timur

Awalia Wardatil Firdaus, Yulfi Zetra, dan R.Y Perry Burhan  
Departemen Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
e-mail: yzetra@gmail.com

**Abstrak**—Telah dilakukan kajian geokimia organik melalui analisa biomarka terhadap sampel minyak pada sumur tua Blok Cepu, Formasi Wonocolo, Jawa Timur untuk mengetahui lingkungan pengendapan kuno minyak tersebut. Analisa biomarka dilakukan dengan metode ekstraksi, fraksinasi, dan identifikasi struktur menggunakan instrumen Kromatografi Gas-Spektrometer Massa (KG-SM). Hasil identifikasi biomarka menunjukkan adanya biomarka pristana (Pr) dan fitana (Ph) dengan rasio Pr/Ph 3.25 mengindikasikan lingkungan pengendapan oksidatif. Keberadaan senyawa 1,2,7- dan 1,2,5-TMN, senyawa 4,4,8,9-pentametil decalin dan 4,4,8,9,9-pentametil decalin, biomarka 4-metildibenzofuran, serta biomarka triterpenoid pentasiklik dengan rasio Ts/Tm+Ts sebesar 0.34 juga mendukung indikator lingkungan pengendapan minyak mentah sumur tua Blok Cepu, Formasi Wonocolo yang bersifat oksidatif. Analisa biomarka yang telah dilakukan menunjukkan sampel minyak Blok Cepu, Formasi Wonocolo memiliki asal usul lingkungan pengendapan oksik.

**Kata Kunci**—Alifatik, Aromatik, Biomarka, KG-SM, Minyak Cepu.

## I. PENDAHULUAN

INDONESIA merupakan salah satu negara dengan penghasil minyak bumi dan gas. Salah satu daerah utama produksi minyak bumi yang terletak pada zona Rembang, cekungan Jawa Timur Utara adalah Blok Cepu [1]. Produksi minyak bumi di Indonesia terus menurun dari tahun ke tahun sekitar 4% per tahunnya. Kemampuan produksi minyak bumi yang mengalami penurunan tersebut diakibatkan oleh sumur yang sudah tua dan sumber daya yang terletak di daerah frontier. Namun, konsumsi BBM terus meningkat tiap tahunnya terutama pada bidang transportasi dengan persentase paling besar, dan diikuti oleh bidang industri. Penurunan produksi minyak yang tidak sebanding dengan kenaikan konsumsi sehingga menyebabkan Indonesia masih melakukan impor minyak bumi [2-3]. Pemerintah telah menyiapkan berbagai kebijakan dan program untuk meningkatkan eksplorasi minyak bumi agar cadangan minyak bumi nasional bertambah.

Salah satu cara dalam meningkatkan produksi minyak bumi adalah eksploitasi minyak bumi secara besar-besaran, namun hal tersebut dapat mengurangi ketersediaan sumber daya minyak bumi dalam negeri. Solusi lain untuk meningkatkan produksi minyak bumi yaitu dengan reaktivasi sumur-sumur tua yang telah ditinggalkan dan sudah tidak produktif lagi. Kegiatan eksplorasi minyak bumi dan reaktivasi sumur tua membutuhkan informasi geokimia organik selain aspek geologi dan geofisika. Informasi geokimia dapat digunakan sebagai gambaran mengenai

hubungan lingkungan pengendapan dengan karbon organik yang berdasarkan distribusi senyawa penanda biologisnya [4-7]. Penelitian-penelitian sebelumnya yang juga melibatkan informasi geokimia dalam proses reaktivasi maupun eksplorasi sumur minyak telah dilaporkan oleh Hakimi dkk (2011) pada Cekungan Masila, Eastern Yemen [8].

Beberapa biomarka hidrokarbon alifatik dan hidrokarbon aromatik dari sedimen geologi yang telah dilaporkan oleh peneliti sebelumnya, dapat memberikan informasi mengenai lingkungan pengendapan sampel geologi [9-10]. Penentuan indikator lingkungan pengendapan telah ditunjukkan dengan rasio pristana/fitana (Pr/Ph) dalam biomarka *n*-alkana dan beberapa biomarka aromatik seperti trimetilnaftalena dan metildibenzofuran [6], [11-12]. Analisa biomarka dalam penelitian ini sangat diharapkan dalam kegiatan eksplorasi minyak mentah maupun reaktivasi sumur tua yang dianggap sudah tidak produktif. Salah satu sumur tua minyak mentah yang diteliti berada di lokasi Blok Cepu, Formasi Wonocolo, Jawa Timur. Informasi yang didapatkan dari penelitian ini diharapkan dapat mendukung keberlanjutan proses produksi dan reaktivasi sumur tua di lokasi Blok Cepu, Formasi Wonocolo, Jawa Timur.

## II. METODE PENELITIAN

### A. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi neraca analitik, kolom kromatografi, pipet pasteur, erlenmeyer, gelas beker, kromatografi lapis tipis (KLT), botol vial, gelas ukur, labu alas bulat *soxhlet*, labu evaporator, seperangkat alat *soxhlet*, corong pisah, lampu UV 254 nm, seperangkat alat rotari evaporator vakum Buchi R-210, dan seperangkat instrumentasi Kromatografi Gas-Spektrometer Massa (KG-SM) Agilent GCMSD5975C.

Sampel minyak mentah yang digunakan pada penelitian ini berasal dari sumur tua Blok Cepu dengan kode W110 pada kedalaman 400 meter yang terletak dalam formasi Wonocolo. Bahan-bahan yang digunakan yaitu silika gel GF<sub>254</sub> ukuran 60 mesh untuk kromatografi kolom, kapas, *seasand*, aluminium foil, serbuk Cu, akuades, kertas saring, batu didih, gas nitrogen, HCl, beberapa pelarut organik meliputi *n*-heksana, diklorometana, metanol, dan aseton.

### B. Ekstraksi Minyak Mentah Blok Cepu

Sebanyak 50 mL sampel minyak Cepu dimasukkan ke dalam corong pisah untuk dilakukan pemisahan antara lapisan minyak dan air. Campuran dikocok dan dibiarkan beberapa saat hingga terbentuk dua (2) lapisan. Kedua lapisan

yang berbeda tersebut menunjukkan bahwa lapisan atas merupakan minyak dan lapisan bawah merupakan air. Minyak yang telah terpisah dari air sebanyak 2.16 gram dilanjutkan untuk analisa berikutnya.

Minyak selanjutnya dilarutkan dalam pelarut *n*-heksana berlebih, untuk dipisahkan antara lapisan bitumen dan malten. Minyak dibiarkan pada temperatur kamar selama 24 jam dalam pelarut *n*-heksana. Jika terbentuk endapan, maka endapan yang merupakan fraksi bitumen dipisahkan menggunakan kertas saring Whatman, sedangkan filtrat yang merupakan fraksi malten diambil untuk dianalisa lebih lanjut. Proses pemisahan antara bitumen dan malten ini berhasil memisahkan 0.16 gram fraksi bitumen. Fraksi malten yang diperoleh sebesar 2.77 gram, selanjutnya difraksinasi secara kromatografi kolom untuk pemisahan fraksi hidrokarbon alifatik dan hidrokarbon aromatik.

### C. Fraksinasi Minyak Mentah Blok Cepu

Fraksinasi minyak mentah Blok Cepu memiliki beberapa tahapan, tahapan yang pertama yaitu preparasi kolom. Silika gel ditimbang sebanyak 80 gram kemudian ditambahkan *n*-heksana 150 mL dan dicampur hingga menjadi bubur. Kromatografi kolom yang telah terisi oleh susunan kapas dan *seasand* kemudian ditambahkan dengan bubur silika gel yang telah diaktivasi, dan susunan teratas diisi dengan *seasand* kembali. Kolom dielusi dengan pelarut *n*-heksana secara berulang-ulang [13-14].

Sampel minyak yang telah diekstrak diambil sebanyak 0.81 gram kemudian dimasukkan ke kolom kromatografi dan dielusi dengan pelarut *n*-heksana, diklorometana, dan metanol secara bertahap. *n*-Heksana digunakan sebagai eluen untuk mendapatkan fraksi hidrokarbon alifatik, sedangkan diklorometana digunakan sebagai eluen untuk mendapatkan fraksi hidrokarbon aromatik, dan metanol digunakan untuk mendapatkan fraksi polar [15]. Fraksi-fraksi yang telah didapatkan kemudian diuapkan pelarutnya dengan alat rotari evaporator vakum [16]. Fraksi aromatik yang telah dievaporasi kemudian dilakukan proses desulfurisasi menggunakan serbuk Cu. Desulfurisasi dilakukan untuk menghilangkan senyawa belerang yang dimungkinkan masih terdapat dalam fraksi hidrokarbon aromatik. Metode desulfurisasi dilakukan dengan cara mengalirkan fraksi hidrokarbon aromatik pada serbuk Cu dalam kolom kecil [17-18]. Kemudian Cu berikatan dengan sulfur bebas yang terdapat dalam fraksi hidrokarbon aromatik dan membentuk CuS melalui prinsip reaksi reduksi-oksidasi.

Masing-masing fraksi hidrokarbon aromatik hasil desulfurisasi dan fraksi hidrokarbon alifatik hasil evaporasi kemudian dikeringkan dari pelarut dengan cara meniupnya dengan aliran gas Nitrogen. Selanjutnya kedua fraksi tersebut dianalisa dan diidentifikasi struktur biomarkanya menggunakan gabungan alat Kromatografi Gas-Spektrometer Massa (KG-SM).

### D. Analisa dengan KG-SM

Identifikasi biomarka dianalisis menggunakan metode Kromatografi Gas-Spektroskopi Massa (KG-SM) Agilent GCMSD5975C dengan gas helium (He) sebagai gas pembawa. Analisa kedua sampel fraksi tersebut dilakukan sesuai dengan kondisi operasional sebagai berikut: suhu isothermal 70°C selama 1 menit, kenaikan suhu yang pertama

dari 70°C menjadi 100°C dengan kecepatan 10°C/menit. Kenaikan suhu kedua dari 100°C menjadi 180°C dengan kecepatan 1°C/menit, kemudian suhu dinaikkan kembali menjadi 315°C dengan kecepatan 5°C/menit. Suhu isothermal akhir 315°C selama 7 menit. Gas helium (He) digunakan sebagai gas pembawa. Spektrometer massa dijalankan dengan energi electron 70 eV. Hasil yang telah diperoleh selanjutnya dilakukan analisa dengan *Enhanced Chemstation software*. Hasil yang didapatkan diidentifikasi berdasarkan fragmentogram *m/z* tertentu, perbandingan pola waktu retensi, dan fragmentasi spektrum massa yang didapatkan dengan hasil penelitian yang telah dipublikasikan oleh peneliti sebelumnya. Senyawa-senyawa biomarka yang diperoleh dapat dijadikan sebagai informasi mengenai lingkungan pengendapan suatu sampel bahan organik. Kelimpahan senyawa biomarka dapat diketahui dari perhitungan area puncak dengan mode integrasi manual.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

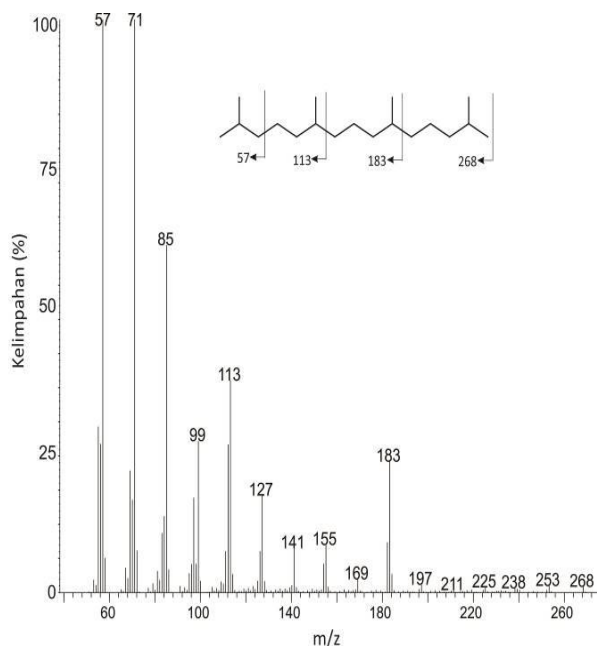
### A. Identifikasi Biomarka

Fraksi hidrokarbon alifatik dan hidrokarbon aromatik yang telah dianalisa dengan kromatografi gas-spektrometer massa (KG-SM) ditunjukkan dalam bentuk *Total Ion Chromatogram* (TIC). Kelompok biomarka teridentifikasi berdasarkan fragmentogram *m/z* spesifik, data spektrum massa dan pola waktu retensi. Selain itu identifikasi juga dilakukan dengan membandingkan data senyawa yang diperoleh dengan data senyawa yang telah dipublikasikan oleh peneliti terdahulu [19]. Identifikasi pada fraksi hidrokarbon alifatik menunjukkan adanya beberapa kelompok biomarka, diantaranya biomarka *n*-alkana, isoprenoid asiklik, sesquiterpenoid, triterpenoid pentasiklik dan sterana.

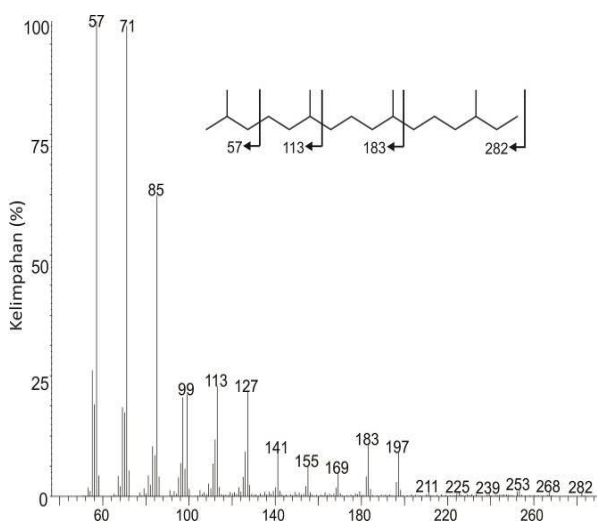
Sedangkan biomarka hidrokarbon aromatik yang teridentifikasi dalam sampel minyak mentah Blok Cepu, Formasi Wonocolo meliputi kelompok biomarka derivat naftalena, derivat fenantrena, aromatik heterosiklik, derivat bifenil, derivat krisena, dan aromatik triterpenoid pentasiklik. Beberapa biomarka yang telah teridentifikasi tersebut sangat berperan dalam menentukan indikator lingkungan pengendapan sampel minyak sumur tua Blok Cepu, Formasi Wonocolo yang dianalisa.

### B. Biomarka sebagai Indikator Lingkungan Pengendapan

Penentuan indikator lingkungan pengendapan juga dapat diketahui melalui keberadaan beberapa biomarka, yaitu baik biomarka alifatik, maupun aromatik seperti yang terjadi pada indikator yang lain. Keberadaan biomarka isoprenoid asiklik berupa pristana (Pr) dan fitana (Ph) yang teridentifikasi berdasarkan fragmentogram *m/z* 57 dengan spektrum massa seperti ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2. Pada kedua gambar tersebut dapat menunjukkan lingkungan pengendapan pada sampel minyak sumur tua Blok Cepu. Biomarka pristana (Pr) dan fitana (Ph) tersebut berasal dari senyawa fitol yang merupakan rantai samping dari klorofil [11]. Pristana dihasilkan dari senyawa fitol pada saat lingkungan pengendapan oksik, sedangkan fitana dihasilkan pada saat lingkungan pengendapan yang reduktif, dimana proses pembentukan kedua senyawa tersebut dapat dilihat pada Gambar 3 [11].



Gambar 1. Spektrum massa dan struktur biomarka pristana.



Gambar 2. Spektrum massa dan struktur biomarka fitana.

Indikator lingkungan pengendapan juga dapat ditunjukkan dengan rasio Pr/Ph. Nilai rasio Pr/Ph > 1 menunjukkan bahwa sampel bahan organik berasal dari lingkungan pengendapan oksik, sedangkan jika nilai rasio Pr/Ph < 1 menunjukkan lingkungan pengendapan anoksik (reduktif) [17], [20], [21]. Hasil penelitian terhadap sampel minyak mentah Blok Cepu, Formasi Wonocolo diperoleh nilai Pr/Ph sebesar 3.25 seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

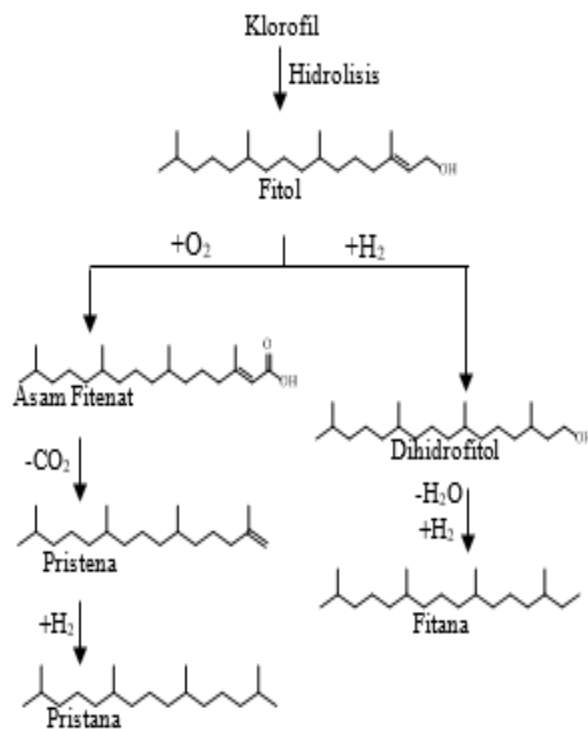
Oleh sebab itu, diperolehnya nilai Pr/Ph yang > 1 mengindikasikan bahwa sampel minyak mentah Blok Cepu terendapkan dalam lingkungan pengendapan oksidatif.

Parameter lain yang juga digunakan sebagai indikator lingkungan pengendapan adalah perbandingan antara rasio Pr/*n*-C<sub>17</sub> dan rasio Ph/*n*-C<sub>18</sub>. Hasil rasio Pr/*n*-C<sub>17</sub> sebesar 10 dan nilai rasio Ph/*n*-C<sub>18</sub> sebesar 0.83 seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Hasil kedua rasio tersebut menunjukkan bahwa sampel minyak mentah Blok Cepu, Formasi Wonocolo terendapkan pada lingkungan oksik [10], [22].

Selain itu, kelompok biomarka sesquiterpenoid yang teridentifikasi berdasarkan m/z 123 juga dapat berperan dalam penentuan lingkungan pengendapan minyak mentah Blok Cepu. Biomarka sesquiterpenoid yang ditemukan

Tabel 1.  
Data interpretasi senyawa *n*-alkana dan isoprenoid

Waktu Retensi (menit)	Nama Senyawa	Intensitas (%)
19.595	<i>n</i> -C <sub>17</sub>	10
20.112	Pristana (Pr)	100
22.593	<i>n</i> -C <sub>18</sub>	36.73
22.891	Fitana (Ph)	30.70
Pr/Ph = 100/30.70 = 3.25		
Pr/ <i>n</i> -C <sub>17</sub> = 100/10 = 10		
Ph/ <i>n</i> -C <sub>18</sub> = 30.70/36.73		



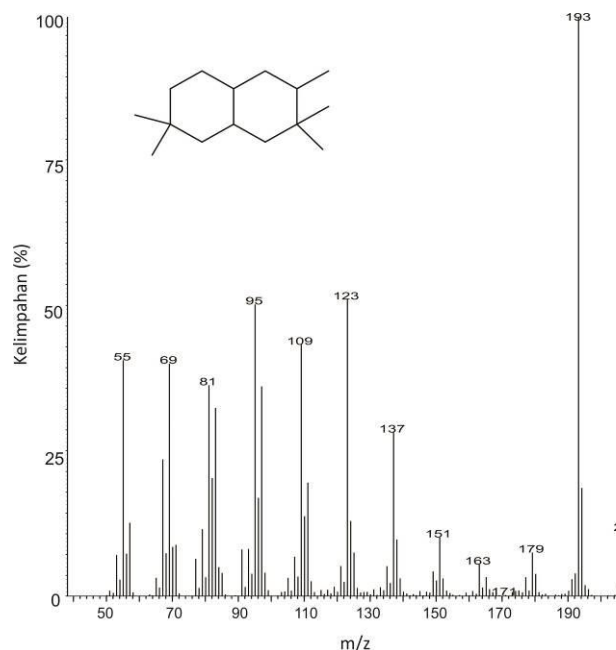
Gambar 3. Proses diagenetik pristana dan fitana dari fitol.

berupa senyawa 4,4,8,8,9-pentametil decalin dan 4,4,8,9,9-pentametil decalin berdasarkan spektrum massa yang ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5.

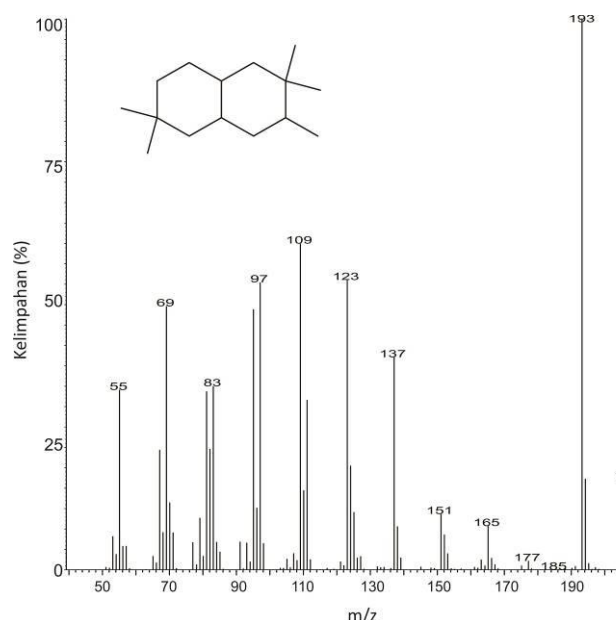
Kedua senyawa tersebut merupakan kelompok C<sub>15</sub> bisiklik sesquiterpana, dimana kedua biomarka itu secara biogenesis lebih mudah terbentuk pada lingkungan oksik daripada lingkungan anoksik [23-24]. Hasil tersebut juga didukung dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Ji dkk. (2016) yang telah mengidentifikasi senyawa-senyawa tersebut dalam sampel batuan Formasi Yanchang, Cekungan Ordo, Cina. Keberadaan senyawa pentametil decalin sebagai indikator lingkungan pengendapan oksik dapat memperkuat hasil rasio Pr/Ph yang juga menunjukkan lingkungan oksik.

Keberadaan senyawa 18α(H),21β(H)-22,29,30-trisnorhopana (Ts) dan 17α(H),21β(H)-22,29,30-trisnorhopana (Tm) dalam kelompok biomarka pentasiklik triterpana yang dianalisa melalui fragmentogram m/z 191 yang ditunjukkan dengan spektrum massa pada Gambar 6 dan Gambar 7. Adanya kedua senyawa tersebut juga dapat dijadikan sebagai indikator lingkungan pengendapan minyak.

Salah satu parameter biomarka pentasiklik triterpana melalui rasio Ts/Tm+Ts < 1 dapat mengindikasikan bahwa lingkungan pengendapan oksik [23-25]. Oleh sebab itu, diperolehnya rasio Ts/Tm+Ts sebesar 0.34 seperti pada Tabel 2 mengindikasikan sampel minyak Blok Cepu yang dianalisa terendapkan pada lingkungan oksik [23-25].



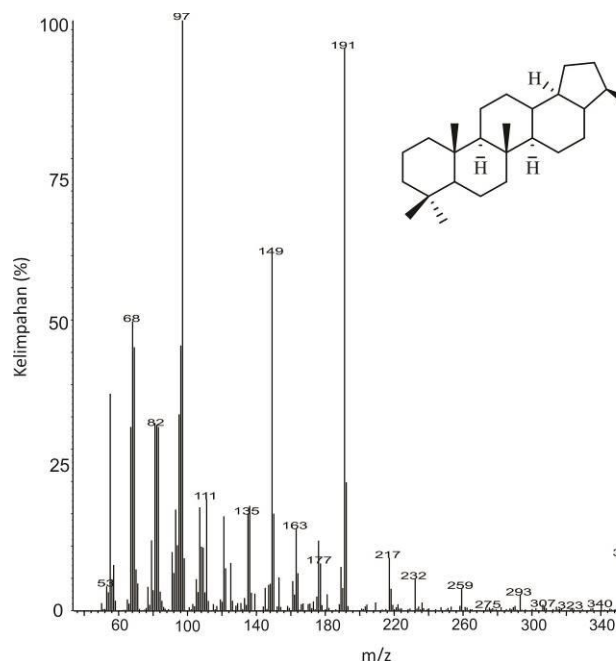
Gambar 4. Spektrum massa dan struktur senyawa 4,4,8,8,9-pentametil decalin.



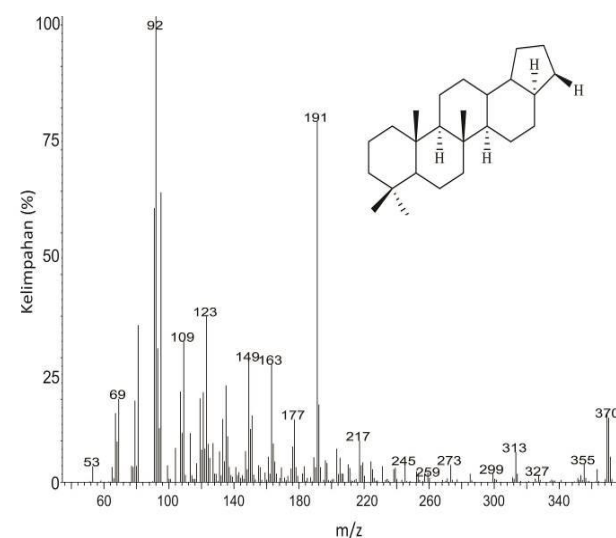
Gambar 5. Spektrum massa dan struktur senyawa 4,4,8,8,9-pentametil decalin.

Selain biomarka hidrokarbon alifatik, indikator lingkungan pengendapan juga dapat ditentukan melalui keberadaan biomarka hidrokarbon aromatik [27]. Salah satu kelompok biomarka hidrokarbon aromatik yang dapat berperan dalam penentuan indikator lingkungan pengendapan adalah biomarka trimetilnaftalena. Keberadaan senyawa trimetilnaftalena berupa isomer 1,2,7-trimetilnaftalena dan 1,2,5-trimetilnaftalena (seperti pada Tabel 3) juga potensial digunakan sebagai indikator lingkungan pengendapan oksik [28-29].

Biomarka hidrokarbon aromatik lainnya yang berpotensi dalam memberikan data tambahan mengenai lingkungan pengendapan minyak mentah Blok Cepu yaitu melalui keberadaan senyawa 4-metildibenzofuran yang dianalisa berdasarkan fragmentogram  $m/z$  182 dengan spektrum massa seperti pada Gambar 8. Dominasi biomarka 4-metildibenzofuran dengan kelimpahan tinggi seperti pada



Gambar 6. Spektrum massa dan struktur biomarka 18 $\alpha$ (H),21 $\beta$ (H)-22,29,30-trisnorhopana (Ts).



Gambar 7. Spektrum massa dan struktur biomarka 17 $\alpha$ (H),21 $\beta$ (H)-22,29,30-trisnorhopana (Tm).

Tabel 4, dapat menunjukkan lingkungan pengendapan bersifat oksik sebagaimana dilaporkan oleh peneliti sebelumnya [30].

Oleh sebab itu, ditemukannya dominasi senyawa 4-metildibenzofuran dalam sampel minyak yang dianalisa, mengindikasikan bahwa minyak sumur tua Blok Cepu, Formasi Wonocolo yang dianalisa terendapkan pada pembentukan lingkungan oksidatif.

#### IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Indikator lingkungan pengendapan minyak mentah Blok Cepu melalui keberadaan biomarka 1,2,7-trimetilnaftalena dan 1,2,5-trimetilnaftalena, senyawa 4,4,8,8,9-pentametil decalin dan 4,4,8,8,9-pentametil decalin, dan biomarka 4-metildibenzofuran, serta hasil perbandingan rasio Pr/Ph = 3.25 dan rasio Ts/(Tm+Ts) = 0.34 mengindikasikan bahwa minyak mentah Blok Cepu, Formasi Wonocolo, Jawa Timur terendapkan pada lingkungan pengendapan oksidatif.



Tabel 2.  
Data interpretasi senyawa pentasiklik triterpana

Waktu Retensi (menit)	Nama Senyawa	Intensitas (%)
51.31	Ts: 18 $\alpha$ (H),21 $\beta$ (H)-22,29,30-trisnorhopana	14.17
52.22	Tm: 17 $\alpha$ (H),21 $\beta$ (H)-22,29,30-trisnorhopana	27.02
Ts/Tm = 14.17/27.80 = 0.52		
Ts/(Tm+Ts) = 14.17/(27.80+14.17) = 0.34		

Tabel 3.  
Kelimpahan senyawa trimetilnaftalena

Waktu Retensi (menit)	Nama Senyawa	Intensitas (%)
16.17	1,2,7- TMN	65.54
17.16	1,2,5- TMN	59.48

Tabel 4.  
Kelimpahan senyawa metildibenzofuran

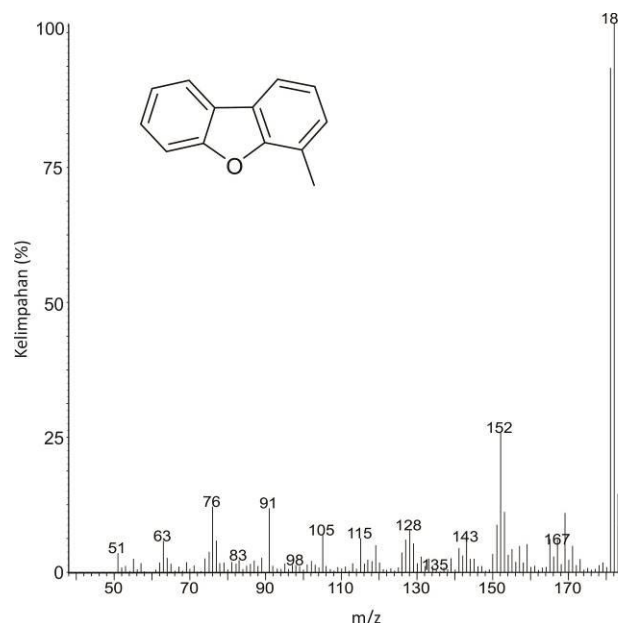
Waktu Retensi (menit)	Nama Senyawa	Intensitas (%)
17.996	4-metildibenzofuran	100
18.359	3+2-metildibenzofuran	42.30
18.663	1-metildibenzofuran	45.37

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada penambang minyak sumur tua Blok Cepu, Formasi Wonocolo, Jawa Timur atas kesediaannya memberikan sampel minyak untuk menjadi obyek penelitian ini. Ucapan terima kasih juga kepada LPPM ITS yang telah memberikan bantuan dana penelitian, sehingga penulisan publikasi ini dapat diselesaikan. Penulis juga tak lupa menyampaikan ucapan terima kasih kepada Tim Laboratorium Geokimia Molekuler, Departemen Kimia, Fakultas Sains dan Analitika Data, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya yang telah memberikan fasilitas penelitian, sehingga penelitian ini dapat terlaksana.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. W. van Van Bemmelen, *The Geology of Indonesia. Vol. IA: General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes*, 1st ed. United States of America: US Government Printing Office, 1949.
- [2] A. Sugiyono, "Outlook Energi Indonesia 2015-2035: Prospek Energi Baru Terbarukan," *J Energi Dan Lingkung*, vol. 12, pp. 87–96, 2016.
- [3] Suharyati *et al.*, *Indonesia Energy Outlook 2019*, 1st ed. Jakarta: Secretary General of the National Energy Council, 2019.
- [4] R. P. Philp, "Geochemistry in the search for oil," *Chem. Eng. News*, vol. 64, no. 6, pp. 28–43, 1986, doi: 10.1021/cen-v064n006.p028.
- [5] W. K. Seifert and J. M. Moldowan, "Use of biological markers in petroleum exploration," *Methods geochemistry Geophys.*, vol. 24, pp. 261–290, 1986.
- [6] M. Li, T. Wang, N. Zhong, W. Zhang, A. Sadik, and H. Li, "Ternary diagram of fluorenes, dibenzothiophenes and dibenzofurans: Indicating depositional environment of crude oil source rocks," *Energy Explor. Exploit.*, vol. 31, no. 4, pp. 569–588, 2013.
- [7] B. M. S. Yandoka, W. H. Abdullah, M. B. Abubakar, M. H. Hakimi, A. Jauro, and A. K. Adegoke, "Organic geochemical characterisation of shallow marine cretaceous formations from Yola Sub-basin, Northern Benue Trough, NE Nigeria," *J. African Earth Sci.*, vol. 117, pp. 235–251, 2016.
- [8] M. H. Hakimi, W. H. Abdullah, and M. R. Shalaby, "Organic geochemical characteristics of crude oils from the Masila Basin, eastern Yemen," *Org. Geochem.*, vol. 42, no. 5, pp. 465–476, 2011.
- [9] O. Sonibare, H. Alimi, D. Jarvie, and A. O. Ehinola, "Origin and occurrence of crude oil in the Niger delta, Nigeria," *J. Pet. Sci. Eng.*, vol. 61, no. 2–4, pp. 99–107, 2008.
- [10] L. Jiang and S. C. George, "Biomarker signatures of Upper Cretaceous



Gambar 8. Spektrum massa dan struktur biomarka 4-metildibenzofuran.

Latrobe Group hydrocarbon source rocks, Gippsland Basin, Australia: Distribution and palaeoenvironment significance of aliphatic hydrocarbons," *Int. J. Coal Geol.*, vol. 196, pp. 29–42, 2018.

- [11] S. D. Killops and V. J. Killops, *Introduction to Organic Geochemistry*, 2nd ed. Oxford: Wiley-Blackwell, 2013.
- [12] B. Krzysztof *et al.*, "Organic matter in upper Albian marine sediments in the High-Tatric units, central western Carpathians related to Oceanic Anoxic Event 1d—Geochemistry, microfacies and palynology," *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, vol. 454, pp. 212–227, 2016.
- [13] M. Li, S. Shi, and T.-G. Wang, "Identification and distribution of chrysene, methylchrysenes and their isomers in crude oils and rock extracts," *Org. Geochem.*, vol. 52, pp. 55–66, 2012.
- [14] G. F. John, F. Yin, V. Mulabagal, J. S. Hayworth, and T. P. Clement, "Development and application of an analytical method using gas chromatography/triple quadrupole mass spectrometry for characterizing alkylated chrysenes in crude oil samples," *Rapid Commun. Mass Spectrom.*, vol. 28, no. 8, pp. 948–956, 2014.
- [15] M. Stefanova, "Molecular indicators of the Oligocene Bobov Dol coal organic matter composition from bitumen analysis and preparative off-line thermochemolysis," *Int. J. coal Geol.*, vol. 118, pp. 1–7, 2013.
- [16] J. Schwarzbauer, R. Littke, and V. Weigelt, "Identification of specific organic contaminants for estimating the contribution of the Elbe river to the pollution of the German Bight," *Org. Geochem.*, vol. 31, no. 12, pp. 1713–1731, 2000.
- [17] R. Y. P. Burhan, J. M. Trendel, P. Adam, P. Wehrung, P. Albrecht, and A. Nissenbaum, "Fossil bacterial ecosystem at methane seeps: origin of organic matter from Be'eri sulfur deposit, Israel," *Geochim. Cosmochim. Acta*, vol. 66, no. 23, pp. 4085–4101, 2002.
- [18] H. Huang, B. F. J. Bowler, T. B. P. Oldenburg, and S. R. Larter, "The effect of biodegradation on polycyclic aromatic hydrocarbons in reservoir oils from the Liaohu basin, NE China," *Org. Geochem.*, vol. 35, no. 11–12, pp. 1619–1634, 2004.
- [19] W. Seifert, "K., and JM Moldowan, 1978," *Appl. steranes, terpanes, monoaromatics to Matur. Migr. source crude oils Geochim. Cosmochim. Acta*, vol. 42, pp. 77–95.
- [20] K. E. Peters, K. E. Peters, C. C. Walters, and J. M. Moldowan, *The Biomarker Guide*, 2nd ed., vol. 1. London: Cambridge University Press, 2005.
- [21] J. L. Coleman Jr, R. T. Ryder, R. C. Milici, and S. Brown, "Overview of the Potential and Identified Petroleum Source Rocks of the Appalachian Basin, Eastern United States," in *Coal and Petroleum Resources in the Appalachian Basin; Distribution, Geologic Framework, and Geochemical Character*, 1st ed., West Virginia: Kentucky Publisher, 2014, p. 835.
- [22] Q. Guo, R. Littke, Y. Sun, and L. Zieger, "Depositional history of low-maturity coals from the Puyang Basin, Yunnan Province, China," *Int. J. Coal Geol.*, vol. 221, p. 103428, 2020.
- [23] R. Y. P. Burhan, Y. Zetra, P. Pusparatu, and Z. V. Nugraheni, "Upaya reproduksi sumur tua cekungan Wonocolo melalui karakterisasi geokimia organik," *Akta Kim. Indones.*, vol. 4, no. 1, pp. 1–14, 2019.
- [24] H. P. Nytoft, O. J. Samuel, G. Kildahl-Andersen, J. E. Johansen, and M. Jones, "Novel C15 sesquiterpanes in Niger Delta oils: Structural

- identification and potential application as new markers of angiosperm input in light oils,” *Org. Geochem.*, vol. 40, no. 5, pp. 595–603, 2009.
- [25] H. Amijaya and R. Littke, “Properties of thermally metamorphosed coal from Tanjung Enim Area, South Sumatra Basin, Indonesia with special reference to the coalification path of macerals,” *Int. J. Coal Geol.*, vol. 66, no. 4, pp. 271–295, 2006.
- [26] A. K. Adegoke, W. H. Abdullah, and B. M. S. Yandoka, “Provenance and paleoenvironment of organic matter within the Fika sediments in Chad (Bornu) Basin, northeastern Nigeria: An integrated organic geochemical and palynofacies approach,” *Int. J. Coal Geol.*, vol. 173, pp. 94–109, 2017.
- [27] L. D. C. Gonzalez, M. Mastalerz, and J. G. Mendonça Filho, “Application of organic facies and biomarkers in characterization of paleoenvironmental conditions and maturity of sediments from the Codó Formation in the west-central part of the São Luís Basin, Brazil,” *Int. J. Coal Geol.*, vol. 225, p. 103482, 2020.
- [28] A. Armstroff, H. Wilkes, J. Schwarzbauer, R. Littke, and B. Horsfield, “Aromatic hydrocarbon biomarkers in terrestrial organic matter of devonian to permian age,” *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, vol. 240, no. 1–2, pp. 253–274, 2006.
- [29] R. Y. P. Burhan, A. M. Chairacita, Y. Zetra, and E. Mutiara, “Biomarking study of aromatic hydrocarbon fraction crude oil Tarakan, North Kalimantan,” *J. Tek. ITS*, vol. 8, no. 2, pp. B32–B38, 2019.
- [30] Z. Lu, S. Chen, Q. He, Y. Li, J. Zhang, and Q. Wu, “Relationship between methylphenanthrene distribution and organic matter maturity: a case study of Yangchang Formation Chang 7 source rocks, Erdos Basin, China,” *Pet. Sci. Technol.*, vol. 36, no. 20, pp. 1718–1724, 2018.